

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Світлана ВОЛОШКО

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Фізичне матеріалознавство»

спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Синтез композиційних покриттів на поверхні латуні ЛС59-1
ультразвуковою ударною обробкою на повітрі»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ФМ-61-1

Педань Роман Васильович

Керівник:

ст. виклад., к.т.н., Бурмак Андрій Петрович

Консультант з питань нормоконтролю:

ас. Шаповалова Н.А.

Консультант з економічно-організаційної частини:

к.е.н., ст. викладач Нараєвський С.В.

Консультант з охорони праці:

д.т.н., професор Левченко О.Г.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра фізики металів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Фізичне матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Світлана ВОЛОШКО

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Педаню Роману Васильовичу

1. Тема роботи «Синтез композиційних покриттів на поверхні латуні ЛС59-1 ультразвуковою ударною обробкою на повітрі», керівник роботи ст. виклад., к.т.н., Бурмак Андрій Петрович, затверджені наказом по університету від «21» травня 2020 р. №1132-с
2. Термін подання студентом роботи _____
3. Вихідні дані до роботи: латунь ЛС59-1; результати переддипломної практики.
4. Зміст роботи:
 - а) аналіз літературних джерел що стосуються тематики роботи; обґрунтування вибору матеріалів; опис процесу обробки зразків; вибір та опис методів дослідження; опис та аналіз результатів дослідження; висновки за результатами роботи.
 - б) охорона праці: аналіз шкідливих факторів та розгляд методів їх усунення.
 - в) організаційно-економічна частина: розрахунок.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 61 сторінка, 13 таблиць, 12 рисунків, 1 презентація.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічно-організаційний	к.е.н., ст.. викладач Нараєвський С.В.		
Охорона праці	д.т.н., професор Левченко О.Г.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача завдання	13.04.2020	
2	Огляд літератури	20.04.2020	
3	Освоєння методик дослідження	27.04.2020	
4	Виконання експериментальних досліджень	04.05.2020	
5	Отримання результатів, їх аналіз	11.05.2020	
6	Оформлення дипломної роботи	01.06.2020	
7	Попередній захист	09.06.2020	
8	Захист на засіданні ЕК	16.06.2020	

Студент

Роман ПЕДАНЬ

Керівник

Андрій БУРМАК

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 59 сторінок, 13 таблиць, 12 рисунків, 33 літературних джерела.

УЛЬТРАЗВУКОВА УДАРНА ОБРОБКА, ЛАТУНЬ,
ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР, МІКРОТВЕРДІСТЬ, КОМПОЗИЦІЙНІ ПОКРИТТЯ,
ФАЗА.

Об'єкт досліджень – композиційні покриття на поверхні латуні ЛС59-1, створені методом ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням часток SiC , Al_2O_3 та $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.

Предмет дослідження – процеси структурно-фазових перетворень в поверхневому шарі латуні ЛС59-1 під час ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням часток SiC , Al_2O_3 та $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.

Мета роботи – дослідження зміни мікротвердості та фазового складу поверхневого шару латуні ЛС59-1 під час ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням часток SiC , Al_2O_3 та $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$.

Методи дослідження – рентгеноструктурний фазовий аналіз, вимірювання мікротвердості за Вікерсом, скануюча електронна мікроскопія.

Результати досліджень та їх новизна – досліджено можливість синтезу за допомогою ультразвукової ударної обробки високоміцних композиційних покриттів деформаційного походження із більш високими, порівняно із аналогічними умовами обробки поверхні латуні ЛС59-1 механічними властивостями.

ABSTRACT

Diploma work: 59 pages, 13 tables, 12 figures, 33 references.

ULTRASONIC IMPACT TREATMENT, BRASS, SURFACE LAYER, MICROHARDNESS, COMPOSITE COATINGS, PHASE.

The object of research – composite coatings on the surface of Cu-39Zn-1Pb brass, created by ultrasonic impact treatment in air by using the particles of SiC, Al₂O₃ and β -Si₃N₄.

The subject of research – processes of structural-phase transformations in the surface layer of Cu-39Zn-1Pb brass under ultrasonic impact treatment in air by using the particles of SiC, Al₂O₃ and β -Si₃N₄.

Research methods – X-ray diffraction analysis, Vickers microhardness measurement, scanning electron microscopy.

Research results and novelty – the possibility of synthesis by means of ultrasonic impact processing of high-strength composite coatings of deformation origin with higher, in comparison with similar conditions of processing of a surface of Cu-39Zn-1Pb brass by mechanical properties is investigated.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	10
1.1 Ультразвукова ударна обробка.....	10
1.2 Еволюція мікроструктури при ультразвуковій ударній обробці	11
1.3 Вплив середовища обробки на механохімічні процеси при УЗУО	13
1.4 Формування композиційних покриттів методом УЗУО.....	15
1.5 Висновки до розділу 1	17
2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
2.1 Матеріал дослідження	18
2.2 Методика та режими ультразвукової ударної обробки.....	18
2.3 Методика вимірювання мікротвердості за Вікерсом	19
2.4 Рентгеноструктурний аналіз	20
2.5 Мікроструктурний аналіз	22
2.6 Висновки до розділу 2	23
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА	
ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	24
3.1 Мікротвердість композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1	24
3.2 Рентгеноструктурний аналіз композиційних покриттів	28
3.3 Дослідженні мікроструктури композиційних покриттів	30
3.4 Висновки до розділу 3	34
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	36
4.1 Науково-технічна актуальність	36
4.2 Розрахунок собівартості роботи.....	36
4.2.1 Розрахунок трудових витрат.....	36
4.2.2 Єдиний соціальний внесок.....	38
4.2.3 Витрати на матеріали	38

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання та приладдя	39
4.2.5 Витрати на послуги сторонніх організацій	39
4.2.6 Витрати на службові відрядження	39
4.2.7 Інші прямі невраховані витрати	39
4.2.8 Накладні витрати	39
4.2.9 Кошторисна вартість	40
4.3 Розрахунок економічної ефективності	41
4.3 Висновки до розділу 4	44
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	46
5.1 Характеристика приміщення	46
5.2 Небезпечні та шкідливі фактори	48
5.2.1 Мікроклімат	48
5.2.2 Шум	49
5.2.3 Вібрація	50
5.2.4 Вплив шкідливих речовин	50
5.2.5 Електробезпека	51
5.3 Заходи для забезпечення безпеки праці	52
5.4 Пожежна безпека	52
5.5 Висновки до розділу 5	53
ВИСНОВКИ	54
CONCLUSIONS	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

УЗУО – ультразвукова ударна обробка

ІПД – інтенсивна пластична деформація

СЕМ – скануюча електронна мікроскопія

ФЗП – фонд заробітної плати

$V_{\text{ЄВС}}$ – єдиний соціальний внесок

$V_{\text{М}}$ – витрати на матеріали

$I_{\text{В}}$ – інші прямі витрати

$H_{\text{В}}$ – накладні витрати

$E_{\text{ДР}}$ – умовний ефект виконання дипломної роботи

$E_{\text{с}}$ – коефіцієнт умовної економічної ефективності

ВСТУП

Стрімкий розвиток технологій потребує створення матеріалів з особливими властивостями. Підвищення вимог до конструкційних матеріалів штовхає до розробки та використання методів, що дозволяють досягти заданих властивостей.

Деякі характеристики матеріалів залежать від стану та структури їх поверхневого шару, адже саме поверхневий шар приймає участь у взаємодії між деталями та піддається впливу середовища. Різноманітні методи впливу на поверхневий шар дозволяють створювати покриття, які мають властивості, що значно перевищують такі у основного матеріалу. Окрім застосування різноманітних методів обробки досягти високих значень певних характеристик можливо поєднуючи в одному матеріалі властивості декількох – створенні композиту.

Латунь широко застосовується для виготовлення різноманітних деталей машин. В більшості випадків важливим є висока міцність, корозійна та зносостійкість поверхневого шару даного матеріалу є важливою та може поширити застосування латуні у різних сферах.

Таким чином підвищення механічних характеристик та зносостійкості поверхневого шару латуні є важливою матеріалознавчою задачею. Досягти високих значень механічних характеристик можливо формуванням композиційних покриттів за допомогою ультразвукової ударної обробки з застосуванням часток міцних та тугоплавких сполук в якості армуючого матеріалу.

В даній роботі досліджено структурно-фазовий склад та механічні характеристики композиційних покриттів, створених на поверхні латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки на повітрі. Створення покриттів може покращити характеристики та довговічність виробів, для виробництва яких застосовується даний матеріал.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Ультразвукова ударна обробка

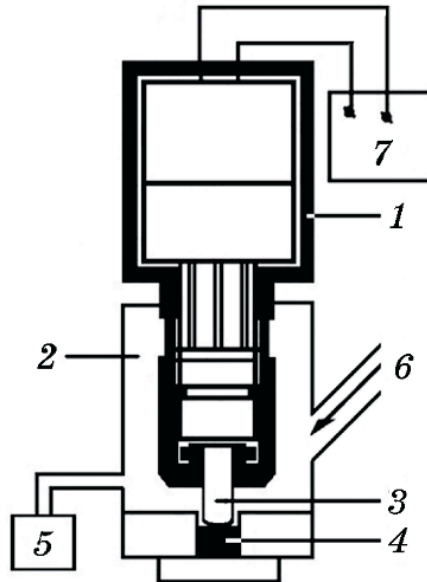
Ультразвукова обробка – це вплив ультразвуку (зазвичай з частотою 15-50 кГц) на речовини в технологічних процесах. Для ультразвукової обробки, зазвичай, застосовують технологічні апарати з електроакустичними випромінювачами. Основним елементом випромінювача є електроакустичний перетворювач (магнітострикційний або п'єзоелектричний) [1].

Ультразвукові перетворювачі трансформують високочастотну електричну енергію в ультразвукові коливання, які передаються до обробної голівки ультразвукового інструменту, яка чинить вплив на поверхню матеріалу з необхідною швидкістю – більш ніж 20000 ударів в секунду. Обробна голівка з твердого металу розміщується під прямим кутом по відношенню до оброблюваної поверхні. Обробна голівка прикріплена до пружинної системи, яка забезпечує постійну силу контакту. Пружина може бути стиснута до необхідного ступеню, що призводить до підвищення контактних сил як і до збільшення відхилення. Приклад схеми установки для ультразвукової ударної обробки наведено на рис. 1.1.

Висока частота впливу на поверхню оброблюваного матеріалу дозволяє досягти високої інтенсивності пластичної деформації, перебіг якої змінює мікроструктуру та механічні властивості поверхневого шару матеріалу.

Розвиток даних методів розпочався в 1950-х роках і пов'язаний зі спробами І.І. Микханова [3], А.В. Мордінцева [4] та інших, які намагались використовувати неперервні ультразвукові коливання для підвищення твердості матеріалів, при безпосередньому контакті з оброблюваною поверхнею. В подальшому було виявлено, що під час впливу в поверхневому шарі матеріалу можуть формуватись нові фази або композиційні сполуки, механічні характеристики яких відрізняються від характеристик основного матеріалу. Також методи інтенсивної пластичної деформації (ІПД) дозволяють

досягти наноструктурування поверхневих шарів матеріалу, що є найбільш ефективним засобом для покращення експлуатаційних властивостей.



1 – вібратор з ступінчастим концентратором, 2 – герметична камера,

3 – бойок, 4 – зразок, 5 – манометр,

6 – канал для заповнення азотом, 7 – ультразвуковий генератор

Рисунок 1.1 – Схема ультразвукової установки для механічної обробки заготовок [2]

Методи ПД мають ряд суттєвих переваг і більш просту технічну реалізацію, оскільки по-перше, надають можливість зміцнювати вже готові деталі та вироби; по-друге, одночасно із формуванням композиційного покриття забезпечують деформаційне зміцнення матеріалу матриці [5]; по-третє, запобігають суттєвому нагріванню зразка та гальмують перебіг релаксаційних процесів.

1.2 Еволюція мікроструктури при ультразвуковій ударній обробці

Будь-яка пластична деформація викликає в металі структурні зміни, які включають в себе зміну форми і внутрішньої будови кожного кристалітів.

З точки зору структурно-фазових змін, що відбуваються під час деформування поверхневого шару металу, пластична деформація поширюється в певних кристалографічних площинах і напрямках. Всередині зерен, які являють собою сукупність блоків однорідно орієнтованих кристалічних решіток і спочатку мають різну орієнтацію, за рахунок петель Франка - Ріда відбувається інтенсивне утворення і рух дислокацій, в результаті чого їх число збільшується на кілька порядків. Всередині одного зерна відбувається взаємодія дислокацій між собою, а також з дефектами кристалічної ґратки, такими як вакансії, домішкові та міжвузлові атомами. В ході пластичної деформації спостерігається роздроблення кристалів на фрагменти, що формують нові блоки, з високим ступенем деформації кристалічної ґратки на границях, а також збільшується ступінь розорієнтації цих блоків, що перешкоджає зсувній деформації, яка відбувається головним чином по площинах ковзання кристалічної ґратки. Зерна деформуються та набувають певну форму і орієнтацію, подовжуються в напрямку головної деформації утворюючи при цьому «текстуру деформації», що призводить до анізотропії механічних властивостей. Деформація кристалічної ґратки навколо дефектів стає досить високою, і в зернах виникає поле напружень другого роду - залишкові мікронапруження, які врівноважуються в об'ємі, порівняному з розмірами самих зерен. Таким чином, дроблення блоків і збільшенням щільності дислокацій усередині зерен, які є наслідком пластичного деформування, призводить до підвищення числа границь зерен, що ускладнює зсувні процеси і «гальмує» дислокації, тобто заважає їх подальшому переміщенню. В результаті цього здатність кристалічної ґратки до подальшої деформації виявляється вичерпаною [6]. Тому зміцнення поверхневого шару при УЗУО можливе лише до певної критичної величини, що обумовлено перебігом процесів динамічної рекристалізації [7]. Для отримання більших значень зміцнення застосовують УЗУО при низьких температурах, наприклад при температурах рідкого азоту.

Утворення нанорозмірного поверхневого шару в сплаві ВТ1-0 за допомогою методу ІПД розглянуто в [7], де після гвинтової екструзії і наступного ультразвукового ударного оброблення в аргоні й у рідкому азоті вдалося підвищити мікротвердість поверхневого шару ВТ1-0 після ультразвукового ударного оброблення в аргоні в 3 рази, а в рідкому азоті – в 3,5 рази.

1.3 Вплив середовища обробки на механохімічні процеси при УЗУО

Значний вплив на механохімічні процеси, які протікають в поверхневому шарі оброблюваного матеріалу здійснює середовище обробки. Найчастіше ультразвукова обробка проводиться на повітрі [8-11]. Найбільший вплив на оброблюваний матеріал чинить кисень, який знаходиться в атмосферному повітрі. В процесі інтенсивної пластичної деформації в поверхневому шарі матеріалу відбуваються активні механіко-фізичні процеси, які сприяють активізації дифузії кисню від поверхні в глибину матеріалу [11-13]. Хімічна взаємодія атмосферного кисню з оброблюваним матеріалом призводить до формування оксидів, утворення яких може впливати на механічні властивості матеріалу. Вплив УЗУО на повітрі на мікротвердість вказано на рисунку 1.2.

В роботі [11] зазначається, що однією з причин зміцнення поверхні сплаву Д16 може бути процес механохімічного окиснення під дією інтенсивної пластичної деформації на повітрі. Ефективність екзотермічної реакції окиснення визначається тривалістю УЗУО. Особливою характеристикою синтезованого оксидного шару є практично однорідний за його товщиною високий вміст атомів кисню.

Зазначається, що генерація хімічно активних дефектів структури поверхні зразка під дією УЗУО є рушійною силою інтенсивного механічно активованого окиснення поверхневого шару металу, яке спричиняє утворення шару оксиду Al_2O_3 (за даними рентгеноструктурного аналізу) товщиною

20 мкм - 30 мкм. Як видно з рисунку 1.2 мікротвердість поверхневого шару зменшується з глибиною. Також вказано, що застосування УЗУО робить можливим зміцнювати поверхневий шар зразків, які вже піддані попередньому термічному обробленню. Ефект такого додаткового зміцнення в декілька разів перевищує ефект штучного старіння [11].

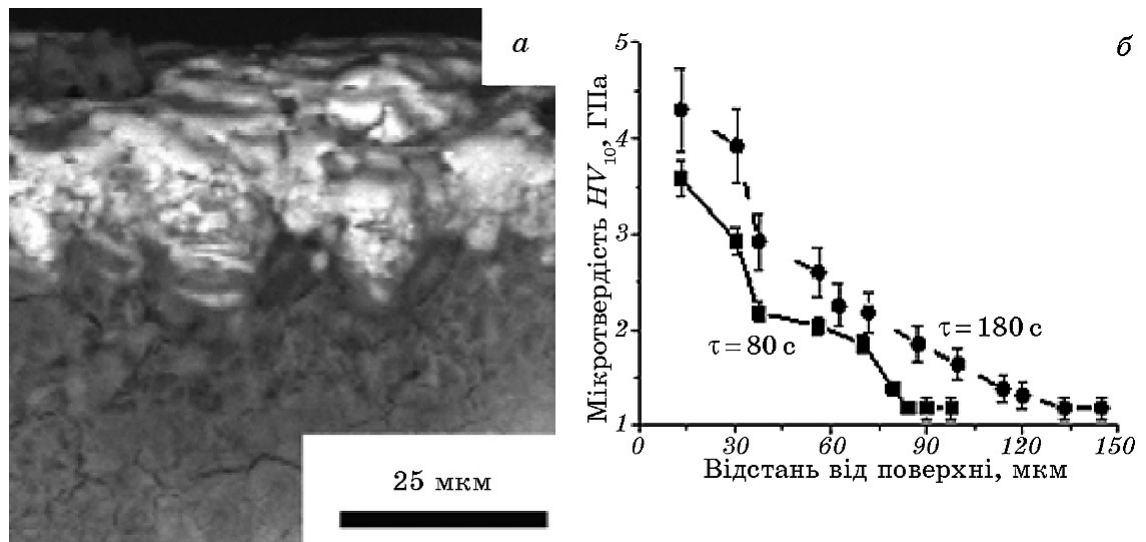


Рисунок 1.2 – Мікроструктура (а) та мікротвердість (б) модифікованого шару алюмінієвого сплаву Д16 після УЗУО на повітрі [11]

Застосовуючи УЗУО в атмосфері азоту можна досягти подібного ефекту з утворенням нітридів металу основи.

Для запобігання перебігу механохімічних процесів окиснення, які проходять в процесі УЗУО на повітрі використовують методи обробки в атмосфері інертних газів [14].

Оскільки зміцнення при УЗУО на повітрі можливе лише до певної критичної величини, що обумовлено перебігом процесів динамічної рекристалізації то для отримання оптимального поєднання таких механічних характеристик, як міцність та пластичність є УЗУО при низьких температурах, зокрема при температурах рідкого азоту. Даний метод використано в [2] для зміцнення двофазної латуні ЛС59-1. Зміцнення досліджувалося в залежності від тривалості витримки в середовищі рідкого азоту і кріогенної

ультразвукової ударної обробки (УЗУО) в квазі-ізостатичних умовах. Показано, що ефект зміцнення поверхні латуні становить $\sim 1,8$ -2 рази в умовах кріодеформації та реєструвався на глибині до ~ 1 мм, а максимальне значення $H_v \sim 3,34$ ГПа досягається після кріо-УЗУО протягом 10 с.

1.4 Формування композиційних покриттів методом УЗУО

Композиційні матеріали – багатокомпонентні матеріали, що складаються, як правило, з пластичної основи (матриці), армованої наповнювачами, що володіють високою міцністю, жорсткістю тощо. Поєднання різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого кількісно і якісно відрізняються від властивостей кожного з його складових [15].

Формування композиційних сполук дозволяє отримувати значний приріст механічних характеристик без застосування сильного подрібнення мікроструктури, тому широкого застосування набув підхід, що дозволяє синтезувати надміцні композиційні покриття, створення яких відбувається завдяки проникненню армуючих часток в матеріал матриці [7].

В якості армуючих часток зазвичай використовуються порошки твердих та тугоплавких сполук, розмір частинок яких сягає декілька мікрометрів, мікрофотографія частинок порошку вказана на рисунку 1.3 [10]. Такий порошок за допомогою спеціального обладнання подається в деформаційну зону між інструментом та оброблюваною поверхнею. Під впливом інтенсивної пластичної деформації відбувається проникнення армуючого матеріалу в матеріал матриці. Така поведінка пояснюється виникненням під дією ультразвуку великої кількості дефектів кристалічної будови, що сприяють пришвидшенню процесу дифузії армуючого матеріалу [6].

Перевага формування композиційних покриттів за допомогою УЗУО в тому, що на відміну від методів вакуумного іонно-плазмового напилення, не відбувається формування чіткої границі між покриттям та матеріалом

основи [16]. Плавний перехід забезпечує гарну адгезію між покриттям і матеріалом основи та запобігає його відділенню чи пошкодженню.

В якості армуючих матеріалів широко застосовуються оксиди, карбіди та нітриди металів. Ці сполуки вирізняються високими значеннями таких механічних характеристик як твердість та міцність, а також мають високу температуру плавлення, що дозволяє застосовувати їх для утворення жаростійких покриттів.

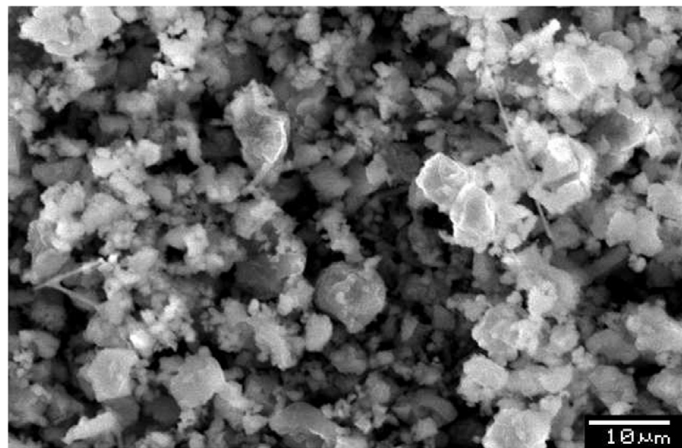


Рисунок 1.3 – Мікрофотографія часток нітриду алюмінію зроблена за допомогою скануючого електронного мікроскопу [10]

Так в роботі [14] розглянуто модифікацію поверхневого шару титанового сплаву ВТ6 за допомогою УЗУО з додаванням в деформаційну зону порошків Al_2O_3 та Cr_2O_3 . Ультразвукова ударна обробка проводилась на повітрі. Для збільшення контактної площі та підвищення ефективності нанесення покриттів використовувався ударний бойок зі сталі ШХ15 діаметром 13 мм. У зону деформаційної дії бойка, додавались порошки Al_2O_3 та Cr_2O_3 та їх суміш з середнім розміром порошинок $\cong 20$ мкм і $\cong 50$ мкм, відповідно. В ході експерименту вдалося досягти підвищення мікротвердості приблизно в 2 рази в порівнянні з мікротвердістю матеріалу матриці, а також високу жаростійкість при формуванні на поверхні титанового сплаву композиційного покриття на основі Al_2O_3 .

В роботі [8] вказується що при використанні часток $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ для модифікації поверхні сплаву ВТ6 було створено композитне покриття, що є більш жаростійким ніж покриття на основі Al_2O_3 . При цьому зразки, армовані частинками Al_2O_3 показали вищу корозійну та зносостійкість. Для підвищення зносостійкості, окрім оксиду алюмінію, можна також застосовувати його нітрид [9, 10].

Окрім сплавів на основі титану УЗУО успішно використовується також для обробки інших металевих матеріалів, зокрема сплавів на основі алюмінію та латуней.

Як вказано в [14] для формування композитних покриттів на поверхні алюмінієвого сплаву Д16 методом УЗУО використано дисперсні порошки Al_2O_3 , B_4C , BN. Обробка проводилася в інертному середовищі, з метою гальмування механохімічних процесів окиснення, які інтенсивно перебігають у поверхневому шарі при УЗУО на повітрі. Зазначено, що за умов армування частинками Al_2O_3 і B_4C спостерігається значне зміцнення (200%—350%) та збільшення зносостійкості (приблизно в 7 разів) поверхні сплаву Д16.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Ультразвукова ударна обробка є ефективним методом для обробки поверхні металевих виробів.

2. Під дією ІПД можливе формування функціональних композиційних покриттів, що дає змогу значно підвищити механічні характеристики матеріалів, їх зносо та жаростійкість.

3. Механічні характеристики композиційних покриттів, що утворюються за допомогою УЗУО з використанням армуючих часток значно вищі, порівняно із аналогічними умовами обробки поверхні.

2 МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріал дослідження

В якості вихідного матеріалу використовувалася латунь марки ЛС59-1. Латунь – це сплав міді та цинку. Частка цинку у латуні може бути відносно високою, і бути понад 36 %. Розчинення міді і цинку один в одному можливе при будь-яких пропорціях, але незважаючи на відсоткове співвідношення міді і цинку у сплаві, латуні вважаються сплавами на основі міді. Хімічний склад латуні ЛС59-1 вказано в таблиці 2.1. Латунь ЛС59-1 широко застосовується для виготовлення різноманітних деталей та виробів, що працюють в умовах тертя. Додавання свинцю дозволяє покращити та зробити більш зручною інструментальну обробку даного сплаву.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад латуні ЛС59-1

№ Зразка	Масова частка елементу, %									
	Cu	Zn	Pb	Контрольовані домішки						
				Mn	Sn	Ni	Fe	Si	Al	Sb
1	58,9	39,6	1,04	>0,03	>0,01	>0,03	>0,05	0,43	-	>0,01

2.2 Методика та режими ультразвукової ударної обробки

Ультразвукова ударна обробка проводилась на виготовленому в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України приладі УЗГ – 300, який складається з ультразвукового генератору із частотою 21 кГц та потужністю 0,6 кВт, вібратора зі ступінчастим концентратором, на якому за допомогою пружин розміщується ударна головка з бойком діаметром 8 мм та довжиною 18 мм.

Така конструкція дозволяє проводити рівномірну деформаційну обробку в автоматизованому режимі з отриманням рівномірного рельєфу, проводити охолодження системи за допомогою повітря чи водою в процесі обробки, та

легко замінювати їх в разі поломки чи необхідності. Заданий ступінь деформаційного зміцнення забезпечується вибором наступних параметрів: амплітуди ультразвукових коливань бойка, швидкості обертання зажиму, у якому кріпиться бойок.

2.3 Методика вимірювання мікротвердості за Вікерсом

Серед звичайних методів механічних випробувань поширений метод вимірювання твердості. Твердістю називається опір матеріалу до впровадження в нього іншого матеріалу. В випробуваний зразок вдавлюється індентор з іншого матеріалу і зміряється глибина проникнення. Сучасна техніка дозволяє виготовити прилади для проведення вимірювання твердості в мікромасштабі – мікротвердості. У такому приладі для вимірювання мікротвердості металографічний шліф, попередньо протравлений для виявлення структури досліджується під мікроскопом, вибирається місце дослідження, до цього місця підводиться індентор, прикладається навантаження, після чого навантаження знімається, шліф з утвореним відбитком розглядається під мікроскопом і проводиться вимір відбитка. За вимірними даними обчислюється значення мікротвердості.

Суть вимірювання полягає в тому, що алмазний індентор у формі правильної піраміди з квадратною основою та певним кутом між протилежними гранями вдавлюють у поверхню зразка, після чого вимірюють довжини діагоналей відбитку, який залишився після зняття зусилля. Твердість за Вікерсом пропорційна результату ділення числового значення величини зусилля на числове значення площі похила по верхні відбитка, яка є правильною пірамідою з квадратною основою і має кут біля вершини, який дорівнює куту біля вершини індентора. Метод Віккерса дозволяє визначати твердість різноманітних матеріалів, зокрема азотованих і цементованих поверхонь, а також тонких листових матеріалів. Твердість по Віккерсу у всіх випадках позначається буквами HV без вказівки розмірності - МПа.

Прикладається навантаження залежить від товщини зразка і визначається за ДСТУ ISO 6507-1:2007.

За значеннями величини мікротвердості Hv з урахуванням табличного значення коефіцієнту Пуассона ($\nu=0,35$) та експериментально визначеного модуля Юнга латуні ЛС59-1 (E) розраховано межу текучості $\sigma_{0,2}$ (2.1) [17], характеристику пластичності δ_H (2.2) [18, 19] та межу міцності σ_s (2.3) [18, 19]:

$$0,33Hv \approx \sigma_{0,2} \text{ ГПа}, \quad (2.1)$$

$$\delta_H = 1 - 14,3(1 - \nu - 2\nu^2)HV/E, \quad (2.2)$$

$$\sigma_s = HV/(0,28 + 0,6\ln [3E/(4 + \nu)\sigma_{0,2}]). \quad (2.3)$$

2.4 Рентгеноструктурний аналіз

Рентгенівський структурний аналіз - це методи дослідження структури речовини по розподілу в просторі та інтенсивностям розсіяного на аналізованому об'єкті рентгенівського випромінювання.

Рентгеноструктурний аналіз поряд з нейтронографії і електронографії є дифракційним структурним методом. В його основі лежить взаємодія рентгенівського випромінювання з електронами речовини, в результаті якого виникає дифракція рентгенівських променів. Дифракція рентгенівських променів - розсіювання рентгенівських променів кристалами (або молекулами рідин і газів), при якому з початкового пучка променів виникають вторинні відхилені пучки тієї ж довжини хвилі, що з'явилися в результаті взаємодії первинних рентгенівських променів з електронами речовини; напрямки і інтенсивність вторинних пучків залежать від будови розсіює об'єкта. Дифракційна картина залежить від довжини хвилі використовуваних рентгенівських променів і будови об'єкта. Для дослідження атомної структури застосовують випромінювання з довжиною хвилі близькою до розмірів атомів.

Дослідження фазового стану сформованих композиційних покриттів проводилось на рентгенівському дифрактометрі Rigaku Ultima 4 (рис. 2.1),

застосована схема фокусування за Брегом – Брентано. Зразок розміщувався горизонтально та обертався в процесі зйомки навколо своєї осі.

Дослідження проведено в $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ випромінюванні, з довжиною хвилі $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$. Умови проведення досліджень: досліджений інтервал кутів $2\Theta = 20^\circ\text{-}100^\circ$, крок зйомки – $0,04^\circ$, час витримки в точці – 2 с; тривалість зйомки одного зразка – 90 хв.

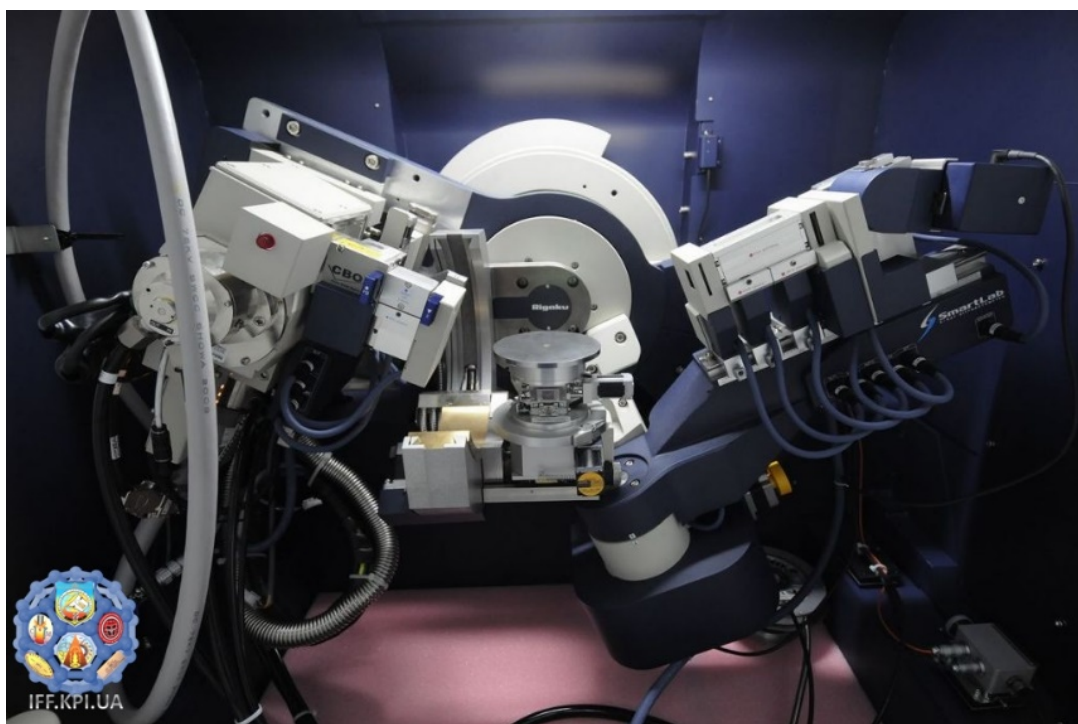


Рисунок 2.1 – Рентгенівський дифрактометр Rigaku Ultima 4 [20]

Якісний та кількісний фазовий аналіз проведено з використанням програмного забезпечення PDXL, міжнародної бази даних дифракції ICDD (PDF-2) та відкритої бази кристалографічних даних COD. PDXL є інтегрованим програмним комплексом для проведення рентгенофазового аналізу порошкових дифрактограм. Кількісний фазовий аналіз проведений методом RIR (Reference Intensity Ratio). Метод RIR полягає в порівнянні відношення інтенсивностей найбільш сильних рефлексів фази і корунду в їх суміші з масовими частками.

2.5 Мікроструктурний аналіз

Скануюча електронна мікроскопія – це метод дослідження мікроструктури зразків, що заснований на реєстрації та аналізі відбитих від поверхні електронів [21]. Даний метод дозволяє отримувати детальне зображення поверхні зразка з високою роздільною здатністю, що може сягати кількох нанометрів. Окрім отримання зображення поверхні метод СЕМ дозволяє дослідити склад поверхні досліджуваного зразка.

Отримання зображення поверхні зразка відбувається за допомогою аналізу вторинних та відбитих електронів. Вторинні електрони утворюються в результаті взаємодії електронів первинного пучка з атомами матеріалу, що може призводити до відриву електронів. Разом з вторинними електронами відбувається генерація відбитих електронів, що утворюються внаслідок пружного розсіяння [21].

Дослідження хімічного складу відбувається за методом енергодисперсної рентгенівської спектроскопії. Опромінення поверхні зразка призводить до збудження атомів, та переходу електронів на більш високі квантові рівні. Перебування атому в збудженому стані є досить короткочасним і він повертається у вихідний стан, електрони при цьому займають вакантні місця на внутрішніх рівнях. При такому переході утворюється надлишок енергії, що випускається у вигляді фотонів, або відбувається передача енергії іншому електрону з зовнішніх енергетичних оболонок. Енергія кванту, що випускає атом є чатко визначеною. Кількість та енергія таких квантів визначає будову речовини. Інтенсивність піків на утвореній спектрограмі надає інформацію щодо атомного номеру елементу та кількість матеріалу в шарі [21].

Дослідження мікроструктури та хімічного складу проводилося як для поверхні оброблених зразків, так і для їх поперечного перерізу.

2.6 Висновки до розділу 2

1. Оскільки сплави міді широко застосовуються для виготовлення деталей та виробів, як матеріал дослідження було обрано латунь ЛС59-1.

2. Обраний комплекс методів дослідження, композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1, дозволяє визначити їх мікромеханічні характеристики та фазовий склад.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Мікротвердість композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1

Одним з перспективних напрямків сучасного матеріалознавства можна вважати формування зносостійких композиційних покриттів на поверхні металів та сплавів із застосуванням поверхневих методів ІПД. Одним з найпоширеніших методів, який дозволяє реалізувати даний підхід є метод фрикційного перемішування на повітрі армуючими частинками порошків. Проте застосування методу УЗУО для формування композиційних покриттів є також доцільним. Наприклад, авторами [11] досліджений вплив ультразвукової ударної обробки (УЗУО) в інертному середовищі на структуру, фазовий склад та мікромеханічні властивості композиційних покриттів, сформованих втіленням у поверхневі шари алюмінієвого сплаву Д16 дисперсних частинок зміцнюючих порошків Al_2O_3 , B_4C , BN та вуглецевих нанотрубок. Під дією інтенсивної пластичної деформації, спричиненої УЗУО, відбувається часткове подрібнення та втілення частинок порошків і процес наноструктуризації матричного сплаву з формуванням деформаційних композитних шарів. Максимальні зміцнення (200 % - 350 %) та зростання зносостійкості (в ~ 7 разів) поверхні сплаву Д16 спостерігаються за умов армування частинками Al_2O_3 і B_4C .

Для формування композитних покриттів шляхом УЗУО поверхні латуні ЛС59-1 використано дисперсні порошки $\beta-Si_3N_4$, Al_2O_3 та SiC (табл. 3.1).

Результати вимірювання мікротвердості поверхневих шарів латуні ЛС59-1 у вихідному стані, після УЗУО на повітрі з амплітудою $A=25$ мкм впродовж $\tau = 150$ с та після аналогічного режиму УЗУО із застосуванням армуючих частинок $\beta-Si_3N_4$, Al_2O_3 та SiC наведено на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Властивості використаних матеріалів

Матеріал	Мікротвердість H_v , ГПа	Коефіцієнт тріщиностійкості K_{IC} , МПа·м ^{1/2}	Розмір порошків, мкм
ЛС59-1	~1,25	—	—
β -Si ₃ N ₄	~14	5,4–6,1	15-25
Al ₂ O ₃	~22	2,8–3,9	35-50
SiC	~30	3,5–4,5	28-40

Мікротвердість одержаних композиційних покриттів для всіх випадків перевищує значення, отримані за аналогічних режимів УЗУО без застосування порошків. Зокрема, після обробки із порошком β -Si₃N₄ мікротвердість в ~1,3 рази вища ніж за аналогічного режиму УЗУО поверхні латуні. Найвище значення мікротвердості ~5,65 ГПа досягається після обробки з порошком карбіду кремнію, ефект зміцнення порівняно із вихідним станом зразка – 4 рази. Це свідчить про суттєву модифікацію структури та складу поверхневого шару латуні ЛС59-1. За даними вимірювання мікротвердості розраховано характеристику пластичності δ_H , межу міцності σ_s та межу текучості $\sigma_{0,2}$ (табл. 3.2).

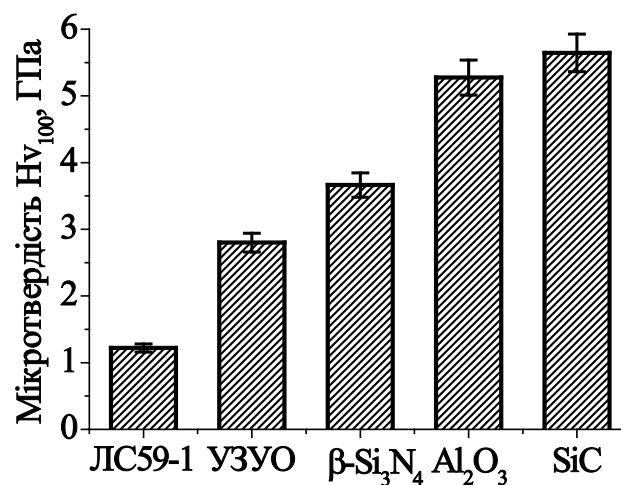


Рисунок 3.1 – Мікротвердість латуні ЛС59-1 та композиційних покриттів

Таблиця 3.2 – Характеристика пластичності δ_H , межа текучості $\sigma_{0,2}$ та межа міцності σ_s деформаційних поверхневих композитів

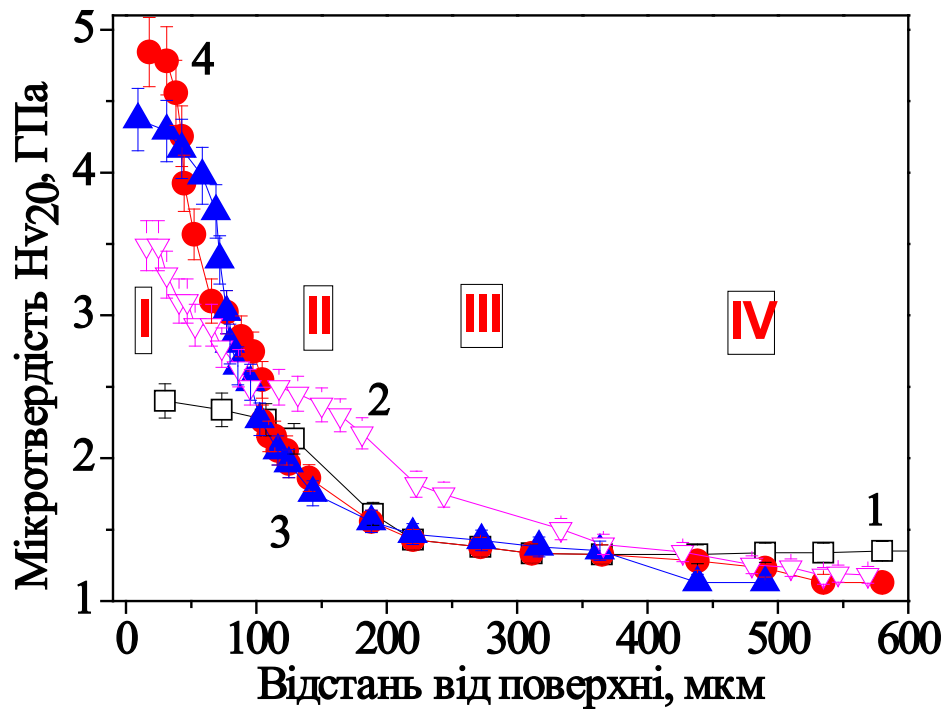
Порошок	Характеристика пластичності, δ_H	Межа текучості, $\sigma_{0,2}$, ГПа	Межа міцності, σ_s , ГПа
Вихідний стан	0,94	3,66	0,58
УЗУО ($A=25$ мкм, $\tau=150$ с)	0,85	8,4	1,75
β -Si ₃ N ₄	0,81	10,98	2,55
Al ₂ O ₃	0,72	15,82	4,32
SiC	0,70	16,93	4,78

На рисунку 3.2 представлені результати вимірювання мікротвердості на різних відстані від поверхні. Отримані результати свідчать про те, що сформовані після УЗУО з порошками β -Si₃N₄, Al₂O₃ та SiC деформаційні композити мають однорідну зміцнену структуру і високу мікротвердість, як на поверхні, так і за товщиною зразка латуні ЛС59-1.

Для латуні після УЗУО без армування порошками (рис. 3.2, крива 1) можна виділити декілька областей по товщині модифікованого шару із різною мікротвердістю. Перша (I) область до ~ 120 мкм – область деформаційного зміцнення зі значенням мікротвердості 2,1 ГПа – 2,4 ГПа. Друга (II) – перехідна область товщиною ~ 190 мкм, для якої характерне поступове зменшення мікротвердості до вихідних значень. В цілому глибина модифікованого шару (область III) становить близько 800 мкм.

Для випадку β -Si₃N₄ (рис. 3.2, крива 2) мікротвердість порівняно з вихідним станом збільшується в 1,5 рази, і, відповідно, у стільки ж разів зменшується товщина деформованого шару порівняно з УЗУО без порошків. Ефект зміцнення зберігається на відстані ~ 120 мкм від поверхні, на відстані ~ 600 мкм від поверхні величина мікротвердості зменшується до вихідних

значень (у необробленому стані). Товщина перехідного шару (рис. 3.2, крива 4) в цьому випадку становить ~ 150 мкм.



1 – УЗУО на повітрі; 2 – УЗУО з порошком β - Si_3N_4 ;

3 – УЗУО з порошком Al_2O_3 ; 4 – УЗУО з порошком SiC

Рисунок 3.2 – Зміна мікротвердості латуні ЛС59-1 по глибині модифікованого шару

УЗУО з використанням армуючих частинок SiC (рис. 3.2, крива 4) дозволяє сформувати на поверхні латуні ЛС59-1 композиційне покриття товщиною ~ 60 мкм, мікротвердість якого змінюється від 4,7 ГПа до 3,1 ГПа (зона I на рис. 3.2). Товщина перехідного шару становить ~ 70 мкм. Область II простягається на ~ 220 мкм, а загалом глибина модифікованого шару (III) досягає ~ 500 мкм. У порівнянні з УЗУО без порошків (рис. 3.2, крива 1), в цьому випадку мікротвердість збільшується практично вдвічі, тоді як глибина деформованого шару, навпаки, суттєво зменшується.

З використанням в якості армуючих частинок Al_2O_3 (рис. 3.2, крива 3) досягається практично такий самий результат, як і для SiC .

Порівнюючи результати УЗУО з різними армуючими порошками можна зробити висновок, що запропонований підхід дозволяє сформувати на поверхні латуні ЛС59-1 високоміцні композиційні покриття товщиною близько 100 мкм. Ефект зміцнення може досягати 4 разів порівняно із вихідним станом латуні. Наявність перехідного шару свідчить про високу адгезію покриття з матеріалом основи.

3.2 Рентгеноструктурний аналіз композиційних покриттів

Рентгенографічні дослідження зразків латуні ЛС59-1 у вихідному стані та після УЗУО на повітрі (рис. 3.3, а) показали наявність α -фази (Cu_2Zn), β -фази (CuZn) та свинцю.

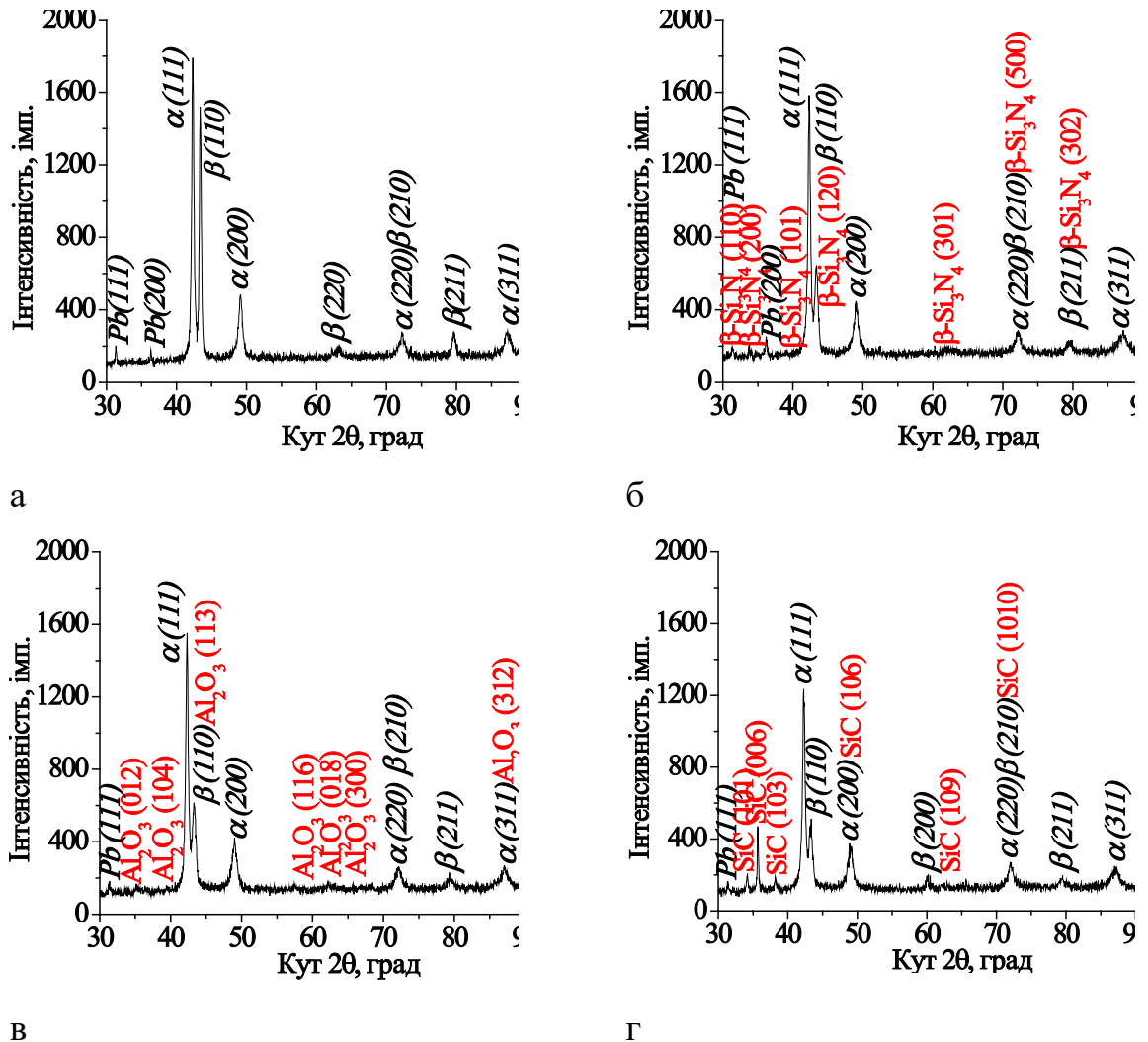
При обробці з використанням порошку $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ (рис. 3.3, б) крім рефлексів від α - та β -фаз латуні з'являються рефлекси від $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. За результатами кількісного рентгенофазового аналізу кількість $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ в приповерхневому шарі товщиною до 30 мкм, становить $\sim 17,5$ ваг.%.

Для випадку порошку Al_2O_3 (рис. 3.3, в) додаткові рефлекси належать, відповідно, оксиду алюмінію, кількість якого трохи вища за 19 ваг.%.

Вміст порошку SiC (рис. 3.3, г) за аналогічних умов обробки є найвищим і складає ~ 34 ваг.%.

Одержані результати корелюють із значеннями мікротвердості (рис. 3.1). Максимальну мікротвердість має порошок SiC (табл. 3.1) і, відповідно, в цьому випадку модифікований шар також має найвищу мікротвердість (рис. 3.2, крива 4) і за даними кількісного рентгенофазового аналізу фокусує геометрії при цьому втілюється максимальна кількість частинок. Звертає на себе увагу суттєвий перерозподіл інтенсивностей рефлексів від α - та β -фаз та зміни кількісного фазового складу латуні. Для порошку SiC з максимальною твердістю спостерігається зменшення кількості α -фази порівняно із УЗУО без порошків, а для порошку Al_2O_3 найбільшої фракції, навпаки, кількість цієї фази збільшується. Що стосується β -фази, то

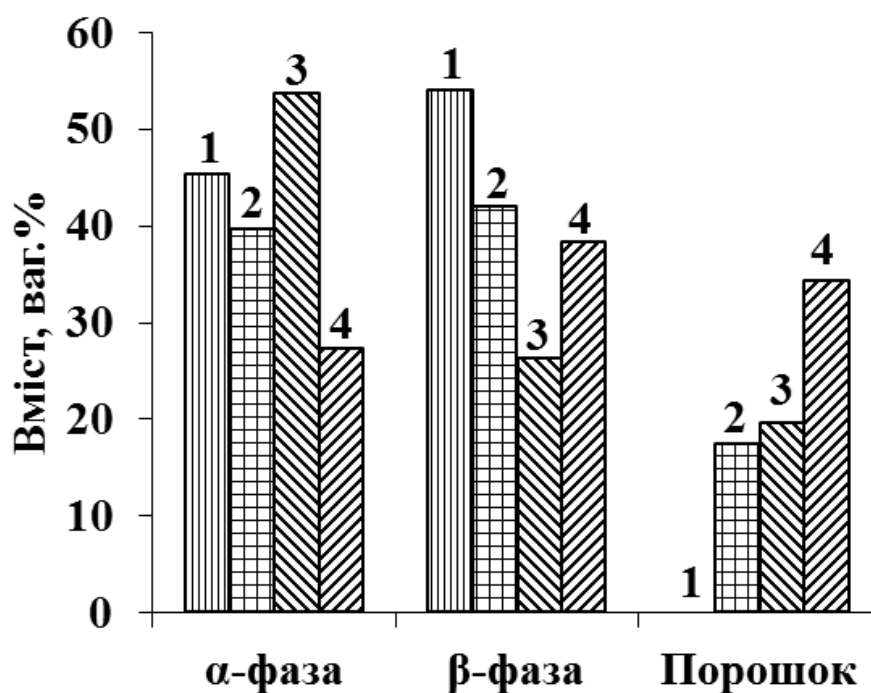
її кількість зменшується в усіх випадках, але найбільш суттєво для порошку β - Si_3N_4 .



а – УЗУО на повітрі; б – УЗУО з порошком β - Si_3N_4 ; в – УЗУО з порошком Al_2O_3 ; г – УЗУО з порошком SiC (тривалість обробки $\tau = 150$ с)
Рисунок 3.3 – Дифрактограми зразків латуні ЛС59-1 (фокусуюча геометрія)

Раніше [24] нами показано, що після УЗУО на повітрі латуні ЛС59-1 відбувається фазовий перехід $\beta \rightarrow \alpha$ і кількість α -фази може досягати 92,5%. Це може бути результатом розігрівання поверхневих шарів матричного сплаву в процесі ПД.

Кількісний фазовий склад латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі з армуючими частинками β - Si_3N_4 , Al_2O_3 та SiC вказано на рисунку 3.4.



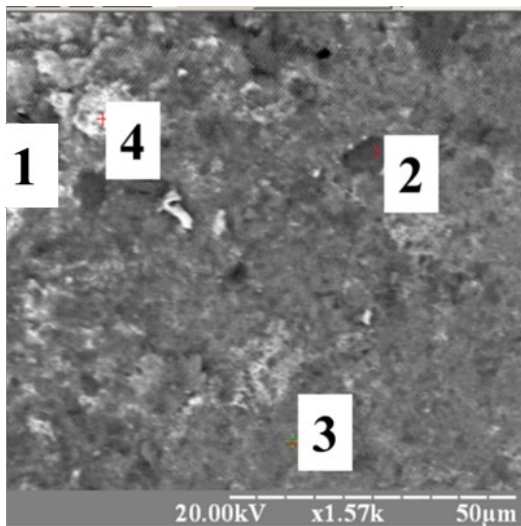
1 – вихідний стан; 2 – β -Si₃N₄; 3 – Al₂O₃; 4 – SiC

Рисунок 3.4 – Кількісний фазовий склад латуні ЛС59-1 після УЗУО на повітрі з армуючими частинками

3.3 Дослідження мікроструктури композиційних покриттів

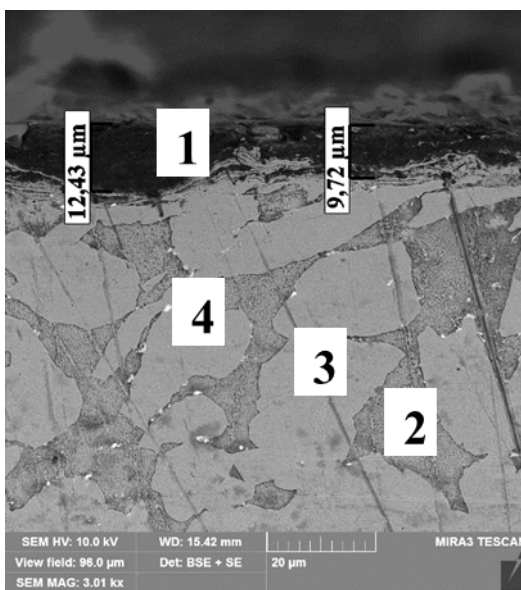
Мікроструктуру поверхні та поперечного перерізу композиційних покриттів, сформованих ультразвуковою ударною обробкою на повітрі поверхні латуні ЛС59-1 з порошками β -Si₃N₄, Al₂O₃ та SiC, досліджено методом скануючої електронної мікроскопії. Також, використовуючи метод СЕМ було визначено хімічний склад утворених композиційних покриттів. Дослідження мікроструктури та хімічного складу відбувалося як для поверхні зразків, з утвореним покриттям, так і для їх поперечного перерізу.

Для випадку УЗУО + β -Si₃N₄ товщина синтезованого покриття коливається в межах 10 мкм -12 мкм. Відмінною особливістю цього покриття є найбільша кількість збереженої β -фази латуні та найменший ступень ПІД. Морфологія поверхні та поперечного перерізу синтезованого покриття наведена на рисунку 3.5.



Конц. елементів, ат. %	Область дослідження			
	1	2	3	4
Si	97,57	98,38	74,83	1,93
Cu	1,46	0,5	16,81	59,73
Zn	0,6	0,93	8,16	38,2
Pb	0,37	0,19	0,2	0,14

а



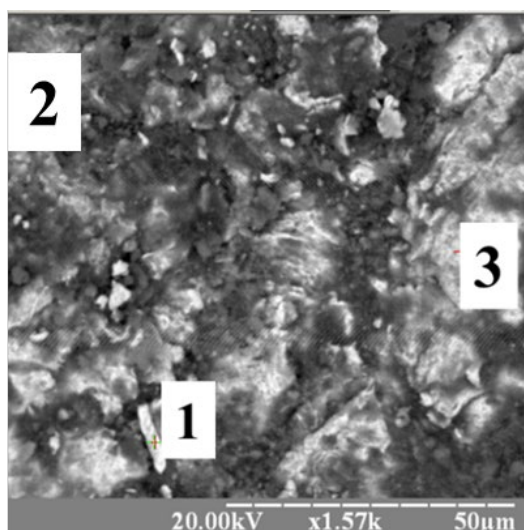
Елемент	Область			
	1	2	3	4
N	41,68	-	-	-
O	21,71	8,01	3,30	3,15
Si	31,06	-	-	-
Cu	2,69	56,61	61,58	58,70
Zn	2,86	35,38	35,12	24,77
Pb	-	-	-	13,38

б

Рисунок 3.5 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття сформованого з використанням β - Si_3N_4

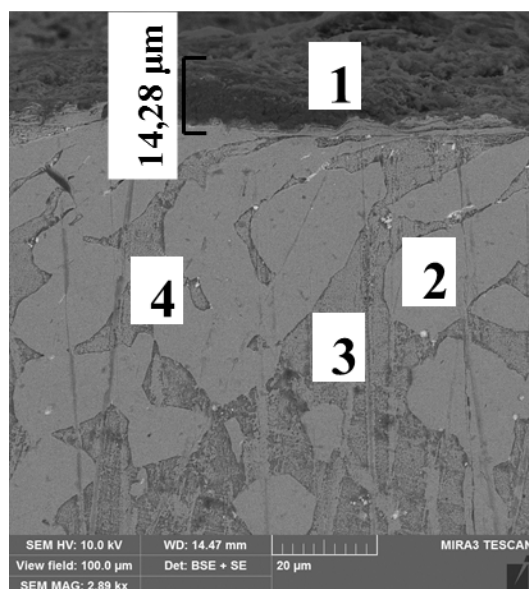
Морфологія поверхні та поперечного перерізу покриття утвореного з використанням порошку Al_2O_3 наведена на рисунку 3.6.

Після УЗУО з використанням порошку Al_2O_3 (рис. 3.6, а) спостерігається суттєве збільшення шорсткості поверхні та утворення областей з високим контрастом. Аналіз даних щодо хімічного складу дозволяє стверджувати, що внаслідок вбивання порошку на поверхні сплаву ЛС59-1 утворюється композиційне покриття з оксидом алюмінію, яке характеризується частковим перемішуванням останнього з матричним сплавом.



Концентрація елементів, ат. %	Область дослідження		
	1	2	3
Al	3,04	79,15	3,21
Cu	61,08	12,21	57,03
Zn	34,68	6,46	36,26
Pb	0,2	0,18	0,5

а



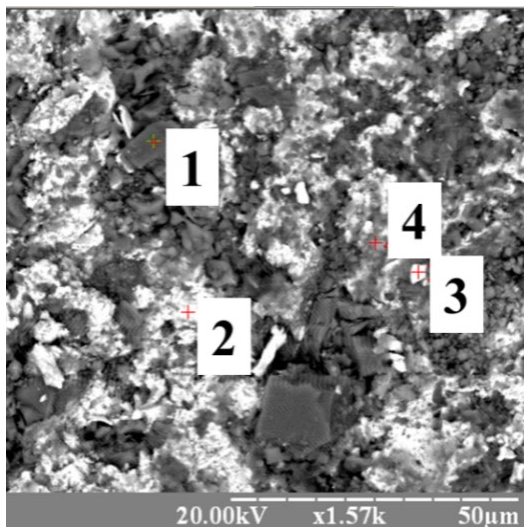
Елемент	Область			
	1	2	3	4
O	58.90	-	8.85	3.48
Al	33.79	-	-	-
Si	1.96	-	-	-
Cu	3.06	64.47	60.33	60.06
Zn	2.29	35.53	30.82	24.84
Pb	-	-	-	11.62

б

Рисунок 3.6 – Морфологія поверхні та хімічний склад композиційного покриття, сформованого з використанням часток Al_2O_3

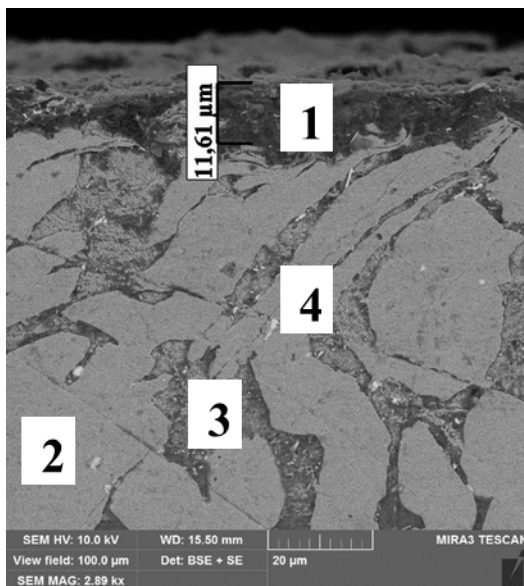
На SEM зображеннях поперечного перерізу (рис. 3.6, б) спостерігається достатньо однорідний композитний шар із максимальним значенням товщини ~ 14 мкм із частинками відповідного порошку, розташованими у матричному сплаві.

На рисунку 3.7 наведена морфологія поверхні та поперечного перерізу покриття утвореного з використанням порошку SiC.



Конц. елементів, ат. %	Область дослідження			
	1	2	3	4
Si	97,72	1,4	0,02	27,65
Cu	0,88	64,63	64,94	46,14
Zn	1,09	33,79	34,67	25,82
Pb	0,31	0,18	0,37	0,39

а



Елемент	Область			
	1	2	3	4
C	27,41	4,14	7,27	5,25
O	7,34	0,57	7,97	2,21
Si	25,36	-	-	-
Cu	25,06	61,97	55,33	47,07
Zn	14,83	33,32	29,43	18,61
Pb	-	-	-	26,86

б

Рисунок 3.7 – Морфологія поверхні та відповідний хімічний склад композиційного покриття, сформованого УЗУО поверхні латуні ЛС59-1 з використанням порошку SiC

СЕМ-зображення поверхні зразків після УЗУО із використанням порошку SiC (рис. 3.7, а) свідчать про значно меншу рівномірність модифікованого шару/покриття, порівняно зі зразком УЗУО + Al₂O₃. У цьому випадку на поверхні спостерігаються поодинокі розподілені глобулярні області темного кольору, які напевно є наслідком втілення за умов УЗУО

порошинок SiC. Результати енергодисперсійного аналізу хімічного складу поверхні повністю підтверджують це припущення.

Поперечний переріз композиційного покриття, у випадку використання порошку SiC (рис. 3.7, б), характеризується хвилястою морфологією перехідної зони покриття/матриця, максимальна товщина становить ~ 12 мкм. У випадку УЗУО на повітрі латуні без додавання порошків пластична деформація сприяє суттєвому зсуву зерен поверхневого шару, що проявляється у нахилі границь зерен по відношенню до перпендикуляра до поверхні. При цьому спостерігається суттєвий градієнт пластичної деформації [5]. В даному випадку теж дуже добре простежується цей ефект, оскільки порошок SiC має найвищу твердість і відповідно ступень ІПД поверхневих шарів латуні максимальний.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Порівнюючи результати УЗУО з різними армуючими порошками можна зробити висновок, що запропонований підхід дозволяє сформувати на поверхні латуні ЛС59-1 високоміцні композиційні покриття товщиною близько 100 мкм. Ефект зміцнення може досягати 4 разів порівняно із вихідним станом латуні. Найвищі механічні характеристики досягнуто з використанням порошку SiC.

2. Проведений рентгеноструктурний аналіз сформованих покриттів вказує на те, що при застосуванні порошків з високою твердістю, зокрема SiC, спостерігається зменшення кількості α -фази порівняно із УЗУО без порошків, а для порошку Al_2O_3 найбільшої фракції, навпаки, кількість цієї фази збільшується. Кількість β -фази зменшується в усіх випадках, але найбільш суттєво для порошку β - Si_3N_4 .

3. Дослідження мікроструктури утворених композиційних покриттів застосовано метод СЕМ. Виявлено, що в усіх випадках утворюється перехідна зона з хвилястою морфологією. Товщина утворених покриттів знаходиться в

діапазоні 10 мкм – 12 мкм. Рівномірність утворених покриттів варіюється в залежності від застосованої армуючої речовини, та її механічних властивостей.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність

Експлуатаційні характеристики матеріалів та деталей з них тісно пов'язані з станом та структурою поверхневого шару. Саме тому покращення характеристик поверхневого шару є актуальною матеріалознавчою задачею.

Латунь ЛС59-1 широко застосовується для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя. Покращити експлуатаційні характеристики даного матеріалу можливо завдяки створенню на поверхні композиційних покриттів методом ультразвукової ударної обробки на повітрі з застосуванням армуючих часток SiC, Al₂O₃ та β-Si₃N₄.

4.2 Розрахунок собівартості роботи

Для встановлення планової собівартості роботи розраховуються витрати, що затрачені на виконання дипломної роботи.

За допомогою планування кошторису можливо оптимізувати витрати на виконання роботи та досягти високого результату.

4.2.1 Розрахунок трудових витрат

Оплата праці кожного робітника розраховується з урахуванням трудомісткості. Розрахунки проводяться в людино-днях. Денні зарплати визначаються як відношення місячного окладу до умовного місяця (для проведення дослідних робіт з п'ятиденним робочим тижнем складає 21,2 дня).

Фонд заробітної плати розраховується множенням середньоденної заробітної плати за кожною категорією виконавців на відповідну планову трудомісткість робіт. Розраховані дані трудомісткості та фонду заробітної плати наведені у таблицях 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість виконання дипломної роботи

Етапи	Трудомісткість за виконавцями, люд.-дні	
	Старший науковий співробітник	Інженер-дослідник
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	2	—
2. Аналіз науково-технічних публікацій по темі дослідження	—	3
3. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	3	—
4. Розробка методики проведення дослідження	4	6
5. Проведення дослідження	—	7
6. Обговорення результатів дослідження	9	10
Усього	18	26

Таблиця 4.2 – Фонд заробітної плати для виконавців дипломної роботи

Посада	Трудомісткість, люд.-дні	Місячний оклад, грн	Денна заробітна плата, грн	Сумарна заробітна плата, грн
Старший науковий співробітник	18	14378	678,20	12207,60
Інженер-дослідник	26	5697	268,72	6986,72
Всього	44	20075	946,92	19194,32

4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначаються у відсотках від загального фонду заробітної плати виконавців дослідної роботи, та відраховується в розмірі 22 % загального фонду заробітної плати. Таким чином, єдиний соціальний внесок складе:

$$B_{\text{ЄВС}} = 19194,32 \times 0,22 = 4222,75 \text{ грн}$$

4.2.3 Витрати на матеріали

Для виконання дипломної роботи необхідні певні матеріали. Витрати, що пішли на закупівлю даних матеріалів вираховуються з ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Витрати на матеріали наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Порошок Al_2O_3	кг	0,25	590	148
Порошок $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$	кг	0,25	1200	300
Порошок SiC	кг	0,25	4800	120
Зразок латуні ЛС59-1	шт.	10	1,5	15
Разом				583

Транспортно-заготівельні витрати складають 10 % від планової вартості використаних матеріалів, тоді загальні витрати на матеріали складають:

$$B_{\text{м}} = 583 \times 1,1 = 641,30 \text{ грн}$$

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання та приладдя

Ультразвукова ударна обробка проводилася на вже існуючому обладнанні та за допомогою стандартних інструментів, тому закупівля приладдя та обладнання не проводилась і не розглядається.

4.2.5 Витрати на послуги сторонніх організацій

Під час виконання дипломної роботи не передбачається користування послугами сторонніх організацій, тому за даною статтею витрати відсутні.

4.2.6 Витрати на службові відрядження

Під час виконання дипломної роботи службові відрядження не передбачаються, тому за даною статтею витрати відсутні.

4.2.7 Інші прямі невраховані витрати

В цій статті поєднуються всі витрати на проведення дипломної роботи, що не увійшли до попередніх статей. При проведенні даної роботи інші прямі витрати складають 10 % від суми врахованих витрат на дипломну роботу:

$$I_B = (19194,32 + 4222,75 + 641,30) \times 0,1 = 2405,83 \text{ грн}$$

4.2.8 Накладні витрати

До накладних витрат (H_B) відносять:

- а) заробітна плата адміністративна – управлінського, господарського та обслуговуючого персоналу з єдиним соціальним внеском;
- б) витрати на придбання експериментального спеціального обладнання та приладів;
- в) витрати по охороні праці та на техніку безпеки;
- г) утримання виробничих площ, приладів, устаткування та установок;

- д) витрати на воєнізовану охорону;
- е) інші загальногосподарські та дослідницькі витрати.

За нормативами для КПІ ім. Ігоря Сікорського величина накладних витрат складає 20 % від суми всіх прямих витрат по темі:

$$H_B = (19194,32 + 4222,75 + 641,3 + 2405,83) \times 0,2 = 5292,84 \text{ грн}$$

4.2.9 Кошторисна вартість

Вищезазначені розрахунки дозволяють скласти кошторис та визначити собівартість виконання дипломної роботи. Плановий кошторис витрат наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова кошторисна собівартість дипломної роботи

Назва статей	Умовне призначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Заробітна плата виконавців теми	ФЗП	19194,32	60,44	За розрахунком
Єдиний соціальний внесок	В _С	4222,75	13,29	22 % від ФЗП
Вартість основних матеріалів	В _М	641,30	2,01	За розрахунком
Вартість спец. обладнання	В _{ОБ}	-	-	Не планується
Витрати на послуги сторонніх організацій	В _{СТОП}	-	-	Не планується
Витрати на службові відрядження	В _{ВІД}	-	-	Не планується
Інші прямі витрати	І _В	2405,83	7,57	10% від суми врахованих витрат

Кінець таблиці 4.4

Назва статей	Умовне призначення	Сума, грн.	Сума, %	Обґрунтування
Накладні витрати	Н _В	5292,84	16,67	20 % від суми всіх прямих витрат
Разом	В _{др}	31757,04	100	Сума всіх попередніх

4.3 Розрахунок економічної ефективності

Розрахунок очікуваного економічного ефекту дипломної роботи необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи. Проте він може бути розрахований лише по дипломним роботам, які безпосередньо спрямовані на створення нових матеріалів, покращення параметрів якості продукції, а також створення нових конструкцій.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (K_1);
- можливість використання результатів розробки (K_2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- складність дослідження (K_4).

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;

б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;

в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;

г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;

д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- в) результати розробки можуть бути використані декількома організаціями – 5 балів.
- г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;
- д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

- а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;
- б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;
- в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;
- г) внаслідок виконання дипломної роботи створені нові теорії, методики тощо – 6 балів;
- д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

- а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;
- б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;
- в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;

г) робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (4.1)$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 4.5 становить:

$$B=3 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 3=216$$

Таблиця 4.5 – Бальна оцінка ефективності дипломної роботи

Показник оцінки ефективності	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень	3

Умовний ефект дипломної роботи розраховується за формулою:

$$E_{\text{ДР}}^y = 500 \times B - E_{\text{н}} \times B_{\text{ДР}}, \quad (4.2)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$B_{др}$ – сумарні витрати на виконання дипломної роботи (підсумок табл. 4.3);

У нашому прикладі умовний ефект виконання дипломної роботи буде становити:

$$E_{др} = 500 \times 216 - 0,25 \times 31757,04 = 100060,74 \text{ грн}$$

Економічна ефективність дипломної роботи визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання дипломної роботи до сумарних витрат на виконання дипломної роботи та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{др}}{B_{др}} \quad (4.3)$$

У нашому випадку E_e буде становити:

$$E_e = \frac{100060,74}{31757,04} = 3,15$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності дипломної роботи становить 3,15 (перевищує одиницю), що свідчить про доцільність її виконання та ефективність.

4.3 Висновки до розділу 4

1. В розглянутому розділі було визначено планову кошторисну вартість (собівартість) дипломної роботи, яка склала 31757,04 грн.

2. Проведений економічний аналіз доцільності дослідження, що було проведено під час виконання дипломної роботи вказує на те, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Дипломна робота виконувалась на кафедрі фізики металів Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського» в корпусі № 9, на 5 поверсі в кімнаті №508.

В даній дипломній роботі розглядається метод створення композиційних покриттів на поверхні латуні ЛС59-1 за допомогою ультразвукової ударної обробки на повітрі з використанням армуючих часток SiC, Al₂O₃ та β-Si₃N₄. Призначенням створюваних покриттів є покращення механічних властивостей поверхневого шару латуні.

Метою розділу «Охорона праці» є виявлення факторів, які виникають під час створення композиційних покриттів за допомогою ультразвукової ударної обробки, та є потенційно шкідливими та небезпечними і можуть вплинути на організм людини.

5.1 Характеристика приміщення

Приміщення в якому проводилася ультразвукова ударна обробка і яке розглядається в даному розділі знаходиться на п'ятому поверсі семиповерхової будівлі. В приміщенні знаходиться шість робочих місць. Підлога приміщення вкрита паркетом, стіни – водоемульсійною побілкою світлого кольору. Вентиляція у приміщенні стаціонарна, також приміщення вентилується через двері та вікна. Освітлення природне, через вікна, що виходять на південь, та штучне. Розміри вікон складають: ширина – 2,5 м, висота 2 м. Параметри приміщення та його план наведені у таблиці 5.1 та на рисунку 5.1 відповідно.

Приміщення, в якому виконувалася ультразвукова ударна обробка, має наступні установки:

1 – мікротвердомір ПМТ-3; 2 – УЗГ-300; 3 – тумбочка; 4, 10, 11 – книжкова шафа; 7, 8, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 24 – стіл письмовий; 5, 12, 13, 14, 22, 23 – стілець; 6, 17, 18 – комп'ютер.

Як видно з таблиці 5.2 параметри приміщення задовольняють норми, що вказані в ДСанПіН 3.3.2-007-98 [25].

Таблиця 5.1 – Параметри приміщення

Параметри	Кількісна характеристика
Розміри приміщення	6 м × 6 м × 2,7 м
Кількість працюючих	2
Площа приміщення	36 м ²
Об'єм приміщення	97,2 м ³

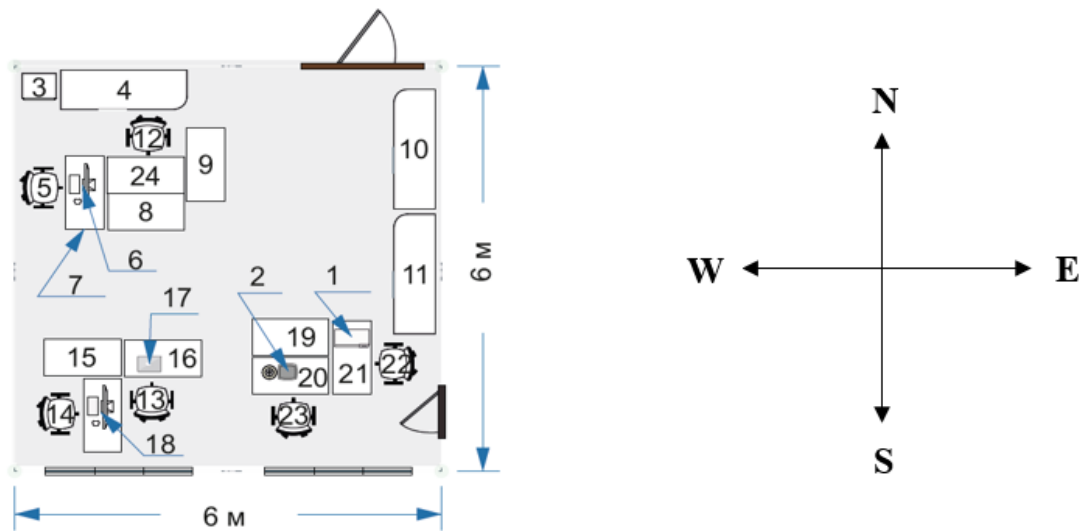


Рисунок 5.1 – Схема приміщення в якому проводилося дослідження

Таблиця 5.2 – Порівняння реальних значень з нормативними

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на одного працюючого	18 м ²	не менше 6 м ²
2	Об'єм на одного працюючого	48,6 м ³	20 м ³
3	Ширина проходу	1,5 м	не менше 1 м
4	Двері	1,5 м	1,5 м
5	Вікна	2 м × 2,5 м	1,2 м × 2 м
6	Відстань від комп'ютера до стіни	1,2 м	1 м
7	Відстань між комп'ютерами	2 м	1,5 м

5.2 Небезпечні та шкідливі фактори

Під час роботи в приміщенні, зокрема виконання ультразвукової ударної обробки та дослідженні оброблених зразків виникають небезпечні та шкідливі фактори, що можуть чинити вплив на стан здоров'я людини. Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 шкідливі та небезпечні фактори поділяються на чотири групи, як вказано в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Небезпечні та шкідливі фактори

Фізичні	Хімічні	Біологічні	Психофізіологічні
Мікроклімат, шум, ультразвук, вібрація, рухомі машини і механізми, електробезпека	Аерозолі (пил)	Відсутні	Відсутні

5.2.1 Мікроклімат

Згідно з [26] категорія важкості робіт – I б. Даною категорією передбачаються легкі фізичні роботи до 150 Ккал/год. Роботи у приміщенні виконуються сидячи чи стоячи, що може призводити до появи певного рівня фізичного напруження.

Температура, вологість та рух повітря у приміщенні є важливими факторами, що впливають на стан робочого мікроклімату. Порівняння вимірних параметрів мікроклімату та нормованих величин в робочій зоні кімнати 508 наведено в таблиці 5.4 та таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 – Виміряні величини параметрів мікроклімату

Період року	Вимірювані фактичні величини		
	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/сек.
Холодний	20	70	0,1
Теплий	23	55	0,2

Таблиця 5.5 – Нормовані величини параметрів мікроклімату

Період року	Оптимальна температура повітря, °С	Оптимальна відносна вологість, %	Оптимальна швидкість руху, м/сек.
Холодний	21 – 23	60 – 40	0,1
Теплий	22 – 24	60 – 40	0,2

Порівнявши виміряні та допустимі значення параметрів мікроклімату можна стверджувати, що величини параметрів мікроклімату входять в допустимі межі і відповідають вимогам санітарних норм, за винятком температури та вологості повітря в холодну половину року. Для виконання постійної роботи в даному приміщенні рекомендується встановлення кондиціонера для підігріву повітря в холодний період року, а також вологопоглинач.

5.2.2 Шум

Шум являє собою небажаний звук чи групу звуків, що можуть чини вплив на самопочуття та здоров'я людини, може призводити до отримання травм через підвищення неувважності [27]. Довготривала дія шуму викликає запаморочення, підвищену стомленість та дратівливість, погіршення пам'яті. Ультразвукова ударна обробка, що розглядається в даній дипломній роботі виконувалася на приладі УЗГ-300, в ході роботи якого створюється певний рівень шуму та ультразвуку.

Документом, що встановлює граничні величини шуму на робочих місцях є ДСНЗ.3.6.037-99 [28].

Для захисту від шуму та ультразвуку застосовуються спеціальні навушники, протишумові екрани, костюми, тощо [29]. В ході виконання ультразвукової ударної обробки під час виконання дипломної роботи застосовувались протишумові навушники.

Завдяки конструкційним особливостям приладу рівень ультразвуку під час УЗУО не потрапляє в зону знаходження оператора та залишається в межах норми.

5.2.3 Вібрація

Вібрацією є механічні коливання пружних тіл чи механічних систем. Вібрація чинить негативний вплив на організм людини, зокрема може призводити до підвищення втомлюваності, порушень вестибулярного апарату, зменшення швидкості моторних реакцій, порушення роботи нервово-судинної та опорно-рухової систем [27].

В ході роботи установки УЗГ-300 виникає певний рівень вібрацій, що може чинити вплив на стан здоров'я оператора.

Для захисту від вібрацій застосовуються засоби для гасіння вібрації внаслідок ізоляції джерел коливань та часткового поглинання вібрацій у ізолюючому матеріалі. В якості таких засобів виступають пружинні, гумові чи комбіновані ізолятори. Дані методи, способи та засоби захисту наведені в ГОСТ 12.1.012-2004 [30].

5.2.4 Вплив шкідливих речовин

При створенні композиційних покриттів методом УЗУО, що розглядається у даній роботі, застосовуються порошки твердих та тугоплавких сполук (оксидів, нітридів, карбідів), зокрема SiC, Al₂O₃ та β-Si₃N₄. Середній розмір часток складає від 15 до 50 мікрометрів.

Невеликий розмір часток сприяє утворенню пилу під час завантаження у установку та транспортування. Утворений пил може осідати на поверхнях та потрапляти в організм через органи дихання та шкіру і тим самим чинити негативний вплив на здоров'я людини.

Варто зазначити, що конструкцією приладу УЗГ-300 передбачено камеру, в якій порошок перебуває під час подавання в зону інтенсивної

пластичної деформації, що мінімізує потрапляння порошку в атмосферу приміщення та утворення пилу.

5.2.5 Електробезпека

Електробезпека являє собою систему заходів та засобів, що забезпечують захист людини від шкідливого впливу електричного струму, електричного чи електромагнітного поля та статичної електрики.

У наведеному приміщенні розміщується декілька електричних приладів, серед яких два персональних комп'ютери, мікротвердомір ПТМ-3 та установка для ультразвукової обробки УЗГ-300. Наведені установки живляться напругою 220 В та змінним струмом з частотою 50 Гц.

Відповідно до правил побудови та електрообладнання електроустановок НПАОП 40.1-1.32-01 приміщення № 508-9 відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки (сухі приміщення із температурою повітря 18 °С – 25 °С та підлогою, що не проводить струм) [31].

Серед чинників, що впливають на важкість ураження організму людини електричним струмом можна виділити три основні типи чинників: електричного характеру (напруга, сила струму, опір тіла людини), неелектричного характеру (час дії струму та індивідуальні особливості організму), виробничого середовища (стан оточуючого середовища) [27].

Електричний струм чинить термічну, електролітичну та біологічну дію на організм людини. Термічний вплив призводить до опіків та термічного ураження тканин організму. Електролітична дія пов'язана з впливом на рідини організму та їх електролітичного розкладу. Біологічний вплив пов'язаний з ураженням нервової системи та порушення її функціонування, що призводить до ураження внутрішніх органів, зупинки серця, тощо.

В приміщенні № 508-9, в якому виконувалася дипломна робота застосовується правильно організоване заземлення електроустановок та обладнання, а організація робочого місця виключає можливість випадкового

доторкання до електрообладнання. Ці заходи дозволяють зменшити можливість ураження струмом.

5.3 Заходи для забезпечення безпеки праці

При організації робочого місця слід брати до уваги заходи щодо організації та обладнання робочих місць, що наведені у НПАОП 27.0-1.01-08 та ДСанПіН 3.3.2-007-98 [25,32]. Робоче місце користувача персонального комп'ютера повинно забезпечувати підтримку оптимальної робочої пози, завдяки чому зменшується шкідливе фізичне напруження. Прилади та установки в приміщенні мають бути розташовані так, щоб відповідати вимогам, наведеним в НПАОП 40.1-1.32-01 та забезпечувати зручність їх використання та обслуговування [32].

Установки та обладнання розташовуються на робочих столах чи спеціальних підставках. Оптимальною для роботи у сидячому положенні є висота робочої поверхні столу в межах 680 мм – 800 мм, ширина робочої поверхні повинна забезпечувати здатність працівника виконувати необхідні операції в зоні досяжності. Рекомендовані параметри для столу, за яким робота виконується сидячи: ширина робочої зони повинна складати від 600 мм до 1400 мм, висота – 725 мм, довжина від 800 мм до 1000 мм [25].

5.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека – це система заходів, що застосовуються для запобігання чи протидії пожежі. Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення поділяють на п'ять категорій за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Приміщення № 508-9 відноситься до категорії «Д», в приміщенні в наявності горючі матеріали та негорючі речовини, що знаходяться за температури навколишнього середовища [33].

Найбільшу пожежну небезпеку несе в собі обладнання, яке знаходиться в приміщенні та проводка, що прокладена для його живлення. Коротке замикання може призвести до появи пожежі у приміщенні.

Для виявлення пожежі в приміщенні встановлені автоматичні датчики типу ДТП, також оповіщення про пожежу можливе за допомогою службового зв'язку. Засоби гасіння в даному приміщенні представлені вогнегасниками ОУБ-2.

Евакуація з приміщення № 508-9 відбувається згідно з існуючим планом евакуації.

5.5 Висновки до розділу 5

1. В приміщенні № 508-9, в якому проводилася розглянута в даній дипломній роботі ультразвукова ударна обробка забезпечені оптимальні умови мікроклімату, освітлення, електробезпеки та пожежної безпеки, приміщення є придатним для безпечної праці.

2. Вплив шуму, ультразвуку та шкідливих речовин мінімізовано завдяки засобам захисту та конструкційним особливостям обладнання.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного аналізу сучасних літературних джерел, в яких розглянуто можливість формування композиційних матеріалів, можна зробити висновки, що УЗУО дозволяє впливати на структуру, підвищувати ресурс, механічні та фізико-хімічні характеристики деталей та конструкцій.

2. Обраний комплекс методів дослідження, композиційних покриттів сформованих на поверхні латуні ЛС59-1, дозволяє визначити їх мікромеханічні характеристики та фазовий склад.

3. Показана можливість синтезу за допомогою УЗУО високоміцних (до 6 ГПа) композиційних покриттів деформаційного походження із більш високими, порівняно із аналогічними умовами обробки поверхні латуні ЛС59-1 механічними властивостями.

4. Проведений економічний аналіз доцільності дослідження, що було проведено під час виконання дипломної роботи, вказує на те, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

5. В приміщені № 508-9, в якому проводилася розглянута в даній дипломній роботі ультразвукова ударна обробка забезпечені оптимальні умови мікроклімату, освітлення, електробезпеки та пожежної безпеки, приміщення є придатним для безпечної праці.

CONCLUSIONS

1. As a result of the analysis of modern literary sources which consider the possibility of the formation of composite materials, it can be concluded that USIT allows to make influence on the structure and to increase the resource, mechanical and physical-chemical characteristics of the machines parts and structures.

2. The selected set of the research methods and of the composite coatings, which are formed on the surface of the Cu-39Zn-1Pb brass, allows to determine their micromechanical characteristics and phase composition of the parts and structures.

3. The possibility of fusion with the help of USIT high-strength (up to 6 GPa) composite coatings of deformation origin with higher, compared to similar conditions of surface mechanical properties treatment of surface of the Cu-39Zn-1Pb brass.

4. The economic analysis of the feasibility of research conducted during the thesis, indicates that this study is feasible from an economic point of view.

5. In room № 508-9, in which USIT was considered in this work, optimal conditions for the microclimate, lighting, electrical safety and fire safety are provided, the room is suitable for safe work.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы ультразвуковой технологии [Электронный ресурс] – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://poznayka.org/s75057t1.html>, вільний. – (дата звернення: 08.05.2020). – Назва з екрана.
2. Васильєв М.О. Зміцнення поверхневих шарів латуні ЛС59-1 за умов витримки та високочастотної ударної деформації у рідкому азоті. / М. О. Васильєв, Б. М. Мордюк // Металлофіз. новітні техн. – 2015. – в. 37. – No. 1. – с. 121–134.
3. Mukhanov I. I. Strengthening Steel Components by Ultrasonically Vibrating Ball / I. I. Mukhanov, Yu.M. Golubev // Vestn. Mashin. – 1966. – No. 11. – p. 52.
4. Mordvintseva A. V. Ultrasonic Treatment of Welded Joints in: Ultrasonic Applications in Welding Engineering // A. V. Mordvintseva – Moscow, TsINTIEnergomash, Proc. of N.E. Bauman MVTU. – ed. 35. – 1959. – p. 32–43
5. Абрамов О. В. Ультразвуковая обработка материалов / Под ред. О. В. Абрамова. – М.: Машиностроение, 1984. – 250 с., ил.
6. Кулемин А. В. Ультразвук и диффузия в металлах / А. В. Кулемин. – М.: Металлургия, 1978. – 199 с.
7. Ultrasonic Impact Processing of Surface Layer of the BT1-0 Titanium in a Submicrocrystalline State / M. O. Vasylyev, B. M. Mordyuk, D. V. Pavlenko, and L. F. Yatsenko // Metallofiz. Noveishie Tekhnol. – 2015. – v. 37. – No. 1. – p.121-134
8. Vasylyev M. O. Synthesis of Deformation- Induced Nanocomposites on Aluminium D16 Alloy Surface by Ultrasonic Impact Treatment / M. O. Vasylyev, B. M. Mordyuk, S. I. Sidorenko // Metallofiz. Noveishie Tekhnol. – 2016. – v. 38. – No. 4. – p. 545–563.
9. Moshkovich A. Friction, wear and plastic deformation of Cu and α/β brass under lubrication conditions / Alexey Moshkovich, Vladyslav Perfilyev, Igor Lapsker // Wear. – Volume 320. – 2014. – p. 34–40

10. Thankachan T. Microstructural, mechanical and tribological behavior of aluminum nitride reinforced copper surface composites fabricated through friction stir processing route / T. Thankachan, K. Soorya Prakash // *Materials Science and Engineering*. – 2017. – v. 688.

11. Evolution of Structural State and Microhardness of Surface of D16 Aluminium Alloy in Consequence of Ultrasonic Shock Treatment in Different Atmospheres / M. O. Vasyliiev, B. M. Mordyuk, S. I. Sidorenko, S. M. Voloshko, and A. P. Burmak // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2015. – v. 37. – No. 9. – p. 1269–1289

12. Various aspects of the air oxidation behaviour of a Ti6Al4V alloy at temperatures in the range 600–700 °C / S. Frangini, A. Mignone, and F. De Riccardis, *J. Mater // Sci.* – 1994. – v. 29. – p. 714–720

13. ШТЫНЬ С. Ю. Особенности протекания в поверхностном слое механохимических процессов нанесения покрытия в условиях виброволнового воздействия / С. Ю. Штынь, В. В. Иванов // Тула: ТулГУ. – 349 с.

14. Mohylko V. V. Enhancement of Heat Resistance of Ti6Al4V Titanium Alloy by Formation of Oxide Composite Layers Using Ultrasonic Impact Treatment / V. V. Mohylko, A. P. Burmak, M. M. Voron // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2018. – 40. – No. 11. – p. 1521–1537.

15. Васильев В.В. Композиционные материалы / Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.; ил.

16. Synthesis of Composite Coatings by Ultrasonic Impact Treatment of VT6 Titanium Alloy / B. M. Mordyuk, S. M. Voloshko, A. P. Burmak, V. V. Mohylko, and M. M. Voron // *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* – 2019. – v. 41. – No. 8. – p. 1067–1086.

17. Micromechanical properties of nanocrystalline titanium prepared by low-temperature rolling / L. S. Fomenko, A. V. Rusakova, S. V. Lubenets, V. A. Moskalenko // *Low temperature physics*. – 2010. – v. 36. – №7. – p. 809–818.

18. Мильман Ю. В. Характеристика пластичности, определяемая методом индентирования / Ю. В. Мильман, С. И. Чугунова, И. В. Гончарова // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (98). – 2011. – №4. – С. 182–187.

19. Влияние температуры на механические свойства объемного аморфного сплава на основе циркония / Ю. В. Мильман, А. Н. Слипенюк, В. В. Куприн, Д. В. Козырев // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (98). – 2011. – №4. – С. 85–88.

20. Центр рентгеноструктурного аналізу Rigaku [Електронний ресурс] – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://iff.kpi.ua/tsentr-rentgenostrukturnogo-analizu-rigaku>, вільний. – (дата звернення: 08.05.2020). – Назва з екрана.

21. Скануюча електронна мікроскопія і рентгеноспектральний мікроаналіз [Електронний ресурс] – Електронні текстові дані. – Режим доступу: http://old.geology.lnu.edu.ua/phis_geo/Datsyuk/SEM.html, вільний. – (дата звернення: 15.05.2020). – Назва з екрана.

22. Mashovets N.S. Aspects of the practical application of titanium alloys after low temperature nitriding glow discharge in hydrogen- free -gas media / N. S. Mashovets, I. M. Pastukh, and S. M. Voloshko // Appl. Surf. Sci. – 2017. – v. 392. – p. 356.

23. Prediction of mechanical and wear properties of copper surface composites fabricated using friction stir processing / Sathiskumar R., Murugan N., Dinaharan I., Vijay S.J. // Materials and Design. – 2013. – v. 55.

24. Майборода М. М. Структурно-фазовий стан та мікротвердість поверхні латуні ЛС59-1 за умов ультразвукової ударної обробки в різних атмосферах: магістерська дис.: 132 Матеріалознавство / Майборода Михайло Михайлович. – Київ, 2018. – 82 с.

25. ДСанПіН 3.3.2-007-98 – Організація і обладнання робочих місць.

26. ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

27. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. – 472 с.

28. ДСН 3.3.6.037-99. – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

29. ДСТУ EN 133:2005. – Засоби індивідуального захисту органів дихання. Класифікація.

30. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ "Вібраційна безпека. Загальні вимоги".

31. НПАОП 40.1-1.32-01. – Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

32. НПАОП 27.0-1.01-08. – Правила охорони праці в металургійній промисловості.

33. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.